

DERWENT-  
ACC-NO: 1989-193678

DERWENT-  
WEEK: 198927

*COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD*

TITLE: Evaporation, with heat recovery, of liq. natural gas - in system with natural gas circuit, 2nd circuit contg. hydrocarbon(s) or ammonia, and opt. 3rd circuit contg. ethane

INVENTOR: SCHMIDT, H

PATENT-ASSIGNEE: SCHMIDT, H LINDE AG[LINM]

PRIORITY-DATA: 1988DE-3836061 (October 22, 1988) , 1987DE-3743417 (December 21, 1987)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
DE 3836061	A June 29, 1989	N/A	006	N/A

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
DE 3836061A	N/A	1988DE-3836061	October 22, 1988

INT-CL (IPC): F01K023/04, F17C009/04

RELATED-ACC-NO: 1989-193677

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 3836061A

BASIC-ABSTRACT:

In this method for the evaporation, together with energy recovery, of liquid natural gas, the liquid gas is heated to ambient temp. by heat exchange with separate circuits of fluids that are expanded with the production of work, condensed and again evaporated.

In the first circuit, the fluid used is the natural gas, which is afterwards mixed with the liquid natural-gas stream again. In a second circuit, for which several variants are claimed and in which there is single-stage expansion, the fluid used can be a hydrocarbon mixture, propane or ammonia; these can be stored under pressure at normal temps.. A third circuit, in which ethane is used, can also be employed.

USE/ADVANTAGE - The method combines low investment costs with better energy-recovery than other systems of a similar type.

CHOSEN-  
DRAWING: Dwg.0/3

TITLE- EVAPORATION HEAT RECOVER LIQUID NATURAL GAS SYSTEM  
TERMS: NATURAL GAS CIRCUIT CIRCUIT CONTAIN HYDROCARBON AMMONIA  
OPTION CIRCUIT CONTAIN ETHANE

DERWENT-CLASS: H06 J07 Q51 Q69

CPI-CODES: H06-A02; J08-D03;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1989-085626

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1989-148122

PUB-NO: DE003836061A1  
DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 3836061 A1  
TITLE: Method for evaporating liquid natural gas  
PUBN-DATE: June 29, 1989

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SCHMIDT, HANS DR ING	DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ASSIGNEE-INFORMATION: LINDE AG	DE

APPL-NO: DE03836061  
APPL-DATE: October 22, 1988

PRIORITY-DATA: DE03836061A (October 22, 1988)

INT-CL (IPC): F01K023/04 , F17C009/02 , F17C009/04

EUR-CL (EPC): F01K025/10 , F17C009/04

US-CL-CURRENT: 60/655

ABSTRACT:

In a method for evaporating liquid natural gas with recovery of energy and with separate fluid circuits, natural gas which has been heated to ambient temperature is used itself for a first fluid circuit, which natural gas experiences a drop in pressure which supplies energy, condenses to form natural gas to be heated up and is fed back to the stream of liquid natural gas. In a second, enclosed fluid circuit which is operated with single-stage pressure reduction, hydrocarbon mixtures, propane or ammonia are used. It is easy to store the latter under pressure at a normal temperature. A third fluid circuit which operates with ethane as the circuit fluid can be added to the two first fluid circuits.

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3836061 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 38 36 061.6  
㉑ Anmeldetag: 22. 10. 88  
㉒ Offenlegungstag: 29. 6. 89

㉓ Int. Cl. 4:  
**F17 C 9/04**  
F 17 C 9/02  
F 01 K 23/04

Behördeneigentum

DE 3836061 A1

㉔ Innere Priorität: ㉕ ㉖ ㉗  
21.12.87 DE 37 43 417.9

㉘ Anmelder:  
Linde AG, 6200 Wiesbaden, DE

㉙ Erfinder:  
Schmidt, Hans, Dr.-Ing., 8130 Wolfratshausen, DE

㉚ Verfahren zum Verdampfen von flüssigem Erdgas

Bei einem Verfahren zur Verdampfung von flüssigem Erdgas unter Energierückgewinnung mit getrennten Fluidkreisläufen wird für einen ersten Fluidkreislauf auf Umgebungstemperatur angewärmtes Erdgas selbst verwendet, welches arbeitsleistend entspannt, gegen anzuwärmendes Erdgas kondensiert und dem flüssigen Erdgasstrom wieder zugemischt wird. In einem zweiten mit einstufiger Entspannung betriebenen geschlossenen Fluidkreislauf finden Kohlenwasserstoffgemische, Propan oder Ammoniak Verwendung. Die Lagerung unter Druck bei Normaltemperatur ist bei letzteren problemlos möglich. Zu den beiden ersten Fluidkreisläufen kann noch ein dritter treten, welcher mit Ethan als Kreislauffluid arbeitet.

DE 3836061 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verdampfen von flüssigem Erdgas unter Energiegewinnung, wobei das flüssige Erdgas im Wärmetausch mit in voneinander getrennten Kreisläufen geführten Fluiden, welche arbeitsleistend entspannt, kondensiert und wieder verdampft werden, auf Umgebungstemperatur angewärmt wird.

Die zur Verdampfung von flüssigem Erdgas notwendige Wärme wird generell von einem Wärmeträger wie Luft, Meer- oder Flußwasser geliefert. Wird nun zusätzlich über Hilfskreisläufe mit Expansionsturbinen die LNG-Kälte genutzt, um elektrische Energie zu erzeugen, so erniedrigt sich die vom Wärmeträger Wasser benötigte Energie um den gleichen Betrag. Damit reduzieren sich die benötigte Wassermenge bzw. die Betriebskosten für die Wasserversorgung. Je mehr Hilfskreisläufe aber installiert werden, um so höher werden die Investitionskosten für Wärmetauschflächen und Maschinen. Das wirtschaftliche Optimum liegt deshalb bei zwei (drei) Hilfskreisläufen.

Ein Verfahren, welches mit zwei im Kreislauf geführten Fluiden als Wärmetauschmittel arbeitet, ist in der DE-OS 26 33 713 beschrieben. Dort wird ein flüssiger Erdgasstrom in mehreren Wärmetauschstufen zunächst erwärmt und dann verdampft. Einen ersten Fluidkreislauf bildet ein Teil des verdampften Erdgases selbst. Ein Teil des verdampften Erdgases wird vom Erdgasstrom abgezweigt, arbeitsleistend entspannt, gegen anzuwärmendes flüssiges Erdgas kondensiert, auf Flüssig-Erdgas-Druck komprimiert und dem flüssigen Erdgasstrom wieder zugemischt.

Als Fluid des zweiten Kreislafs wird bei dem bekannten Verfahren Ethan verwendet. Dabei wird ein gegen Flußwasser, Meerwasser oder Luft verdampfter Ethanstrom arbeitsleistend entspannt. Der entspannte Strom wird geteilt, wobei ein erster Teil weiterer arbeitsleistender Entspannung, anschließender Kondensation im Gegenstrom zum Erdgas, erneuter Erwärmung und, vereinigt mit dem zweiten Teil des Ethanstromes, einer Wiederverdampfung zugeführt wird. Der zweite Teil des Ethanstromes wird gegen anzuwärmendes Erdgas kondensiert und dem ersten Ethanstrom wieder zugemischt. Bedingt durch die zweimalige Entspannung des Wärmetauschmittels sowie zur Aufrechterhaltung des arbeitsleistenden Entspannungsprozesses werden beide Ethanströme, nach ihrer Kondensation im Wärmetausch mit anzuwärmendem Erdgas, auf einen gemeinsamen Druck gepumpt.

Die Energieausbeute dieses Verfahrens ist gut, doch wird die gute Energieausbeute nur durch einen zweistufigen Ethankreislauf erreicht.

Der vorliegenden Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, daß ein geringerer Investitionskostenaufwand und/oder eine bessere Energierückgewinnung gewährleistet sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Fluid eines ersten Kreislafs Erdgas ist, welches von dem auf Umgebungstemperatur angewärmten Erdgas abgezweigt, arbeitsleistend entspannt, im Wärmetausch mit flüssigem Erdgas kondensiert und dem flüssigen Erdgas wieder zugemischt wird, und daß in einem zweiten Kreislauf ein Fluid geführt wird, welches einstufig arbeitsleistend entspannt wird.

Um zu einer guten Energieausbeute zu gelangen, ist es beim Verfahren der vorliegenden Erfindung nicht

nötig, das Fluid des zweiten, geschlossenen Kreislafs zweistufig arbeitsleistend zu entspannen. Das Fluid wird einstufig entspannt, woraus sich eine Kostenersparnis aufgrund geringerer Anzahl an Expansionsturbinen und Pumpen ergibt, bei vergleichbar guter Energierückgewinnung gegenüber dem Stand der Technik.

Erfindungsgemäß ist die Verwendung von Gemischkreisläufen günstig. So wird das Fluid des zweiten Kreislafs eine Mischung aus C<sub>1</sub>- bis C<sub>6</sub>-Kohlenwasserstoffen, insbesondere eine C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>-Mischung oder ein C<sub>2</sub>/C<sub>3</sub>-Mischung, verwendet, wobei der C<sub>2</sub>-Anteil weniger als 90 Mol-% beträgt.

Das erfindungsgemäße Verfahren weiterbildend wird als Fluid des zweiten Kreislafs Propan verwendet.

Erfindungsgemäß wird damit ein Fluid vorgeschlagen, für dessen Lagerung unter Druck keine Fremdkälte notwendig ist. So ist beispielsweise eine Lagerung unter einem Druck von 20 bar bei Umgebungstemperatur problemlos möglich, womit der Nachteil einer energieaufwendigen Kühlung entfällt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann als Fluid des zweiten Kreislafs Ammoniak verwendet werden. Auch hier ist eine Lagerung unter Druck bei Umgebungstemperatur möglich.

In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zwischen dem ersten und dem zweiten Kreislauf ein weiterer mit einstufiger Entspannung betriebener Kreislauf eingesetzt.

In dieser Ausgestaltung hat sich von Vorteil erwiesen, daß als Fluid des dritten Kreislafs Ethan verwendet wird. Bei dieser erfindungsgemäßen Variante ist zwar die Zahl der Expansionsturbinen genauso groß wie bei dem eingangs beschriebenen bekannten Verfahren, doch ergibt sich für das erfindungsgemäße Verfahren eine Steigerung der Energieausbeute gegenüber dem bekannten Verfahren.

In einer entsprechenden Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Fluid des ersten Kreislafs zweistufig arbeitsleistend entspannt. In einer ersten Stufe wird dabei angewärmtes Erdgas entspannt und im Wärmekontakt mit Meerwasser gebracht. Dieser erwärmte Strom wird zweigeteilt, wobei ein Teil des verdampften Erdgases abgezogen wird, während der andere Teil nochmals arbeitsleistend entspannt und nach Wärmetausch mit anzuwärmendem Erdgas kondensiert und dem flüssigen Erdgas wieder zugemischt wird. Das Fluid des zweiten Kreislafs wird weiterhin einstufig arbeitsleistend entspannt. Eine entsprechende Beschreibung dieser Ausgestaltung findet sich im Beispiel zu Fig. 2.

Bei einer nicht dargestellten Variante des Verfahrens wird der angewärmte Erdgasstrom zweigeteilt. Ein Teilstrom bildet den ersten Fluidkreislauf, während der andere Teilstrom vor seinem Abzug nochmals arbeitsleistend entspannt wird.

Die Erfindung sei nunmehr anhand einiger schematisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Dabei zeigt

Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Verfahren mit jeweils einstufiger arbeitsleistender Entspannung der Fluide des ersten und zweiten Kreislafs,

Fig. 2 ein erfindungsgemäßes Verfahren mit zweistufiger Entspannung der Fluide des ersten Kreislafs und einstufiger Entspannung des Fluids des zweiten Kreislafs,

Fig. 3 ein erfindungsgemäßes Verfahren wie in Fig. 2 dargestellt, erweitert um einen dritten Fluidkreislauf.

Fig. 1 ist die prinzipielle Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Ein flüssiger Erdgasstrom 1 wird zunächst in einem Wärmetauscher E1 gegen kondensierendes Erdgas aus Leitung 2b angewärmt. In Wärmetauscher E2 folgt eine weitere Erwärmung des Erdgasstroms gegen das im Kreislauf der Leitungen 3a und 3b geführte Wärmetauschmittel Propan. Die endgültige Anwärmung des Erdgasstromes wird in Wärmetauscher E3B im Gegenstrom zu abzukühlendem Meerwasser aus Leitung 4 vorgenommen. Aus dem gasförmigen Erdgasstrom 1 wird ein Teil über eine Stichleitung 2a abgezogen, in Expansionsmaschine X1 arbeitsleistend entspannt, im Wärmetausch zu anzuwärmendem Erdgas kondensiert und, nach Erhöhung des Druckes mittels Pumpe P1 auf den Druck des flüssigen Erdgasstroms, diesem wieder zugemischt. Das Fluid des zweiten Kreislaufs, Propan, bezieht seine Energie zur Arbeitsleistung und Erdgaserwärmung aus dem in Leitung 4 bereitgestellten Meerwasser. Nach Passieren von Wärmetauscher E3A ist das Propan in Leitung 3a vollständig verdampft und wird in Expansionsmaschine X2 arbeitsleistend entspannt. Über Leitung 3b wird dieser Propanstrom im Gegenstrom zu dem Propanstrom in Leitung 3a und dem zu erwärmenden Erdgasstrom in Leitung 1 durch Wärmetauscher E2 geleitet, wobei das Propan kondensiert. Mittels Pumpe P2 wird der flüssige Propanstrom komprimiert und über Leitung 3a zur Erwärmung durch Wärmetauscher E2 geführt. Damit ist der zweite Fluidkreislauf geschlossen. Das zur Energiegewinnung und Erdgasverdampfung herangezogene Meerwasser wird über Leitung 4 herangeführt, durch die parallel geschalteten Wärmetauscher E3A (im Wärmekontakt zum zu verdampfendem Fluid des zweiten Kreislaufs) und E3B (im Wärmekontakt zum anzuwärmenden Erdgasstrom) geleitet und nach dem Wärmeentzug über Leitung 5 abgezogen.

Ein Vergleich des erfindungsgemäßen Verfahrens wie am Beispiel zu Fig. 1 beschrieben, unter Verwendung von Propan als Wärmetauschmittel, mit dem des bekannten Verfahrens aus der DE-OS 26 33 713 erbrachte eine annähernd gleich gute Energieausbeute. Die Berechnungen erfolgten unter Annahme der gleichen Erdgaszusammensetzung sowie der Verwendung gleichwertiger Maschinen. In beiden Fällen wurde mit folgenden Randbedingungen gerechnet: Eingangsdruck des flüssigen Erdgasstromes 82,4 bar, Abgabedruck 80 bar, Durchsatz an Erdgas 130 t/h, Eintrittstemperatur des flüssigen Erdgasstroms 125 K. Unter obigen Voraussetzungen betrug der Gewinn des bekannten Verfahrens 3880 kW, während mit dem erfindungsgemäßen Verfahren 3720 kW erreicht wurden. Damit ist das erfindungsgemäße Verfahren um ca. 4% weniger effizient als das bekannte, doch wird letztlich ein Leistungsgewinn erreicht, und zwar durch geringeren maschinellen Aufwand und dadurch, daß für die Lagerung des Kreislaufmediums keine Fremdkälte benötigt wird.

Fig. 2 zeigt eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens der Fig. 1, bei welcher der auf Umgebungstemperatur angewärmte Erdgasstrom zweistufig arbeitsleistend entspannt wird. Der angewärmte Erdgasstrom wird in Expansionsmaschine X3 erstmalig arbeitsleistend entspannt und durchläuft zur erneuten Anwärmung gegen Meerwasser der Leitung 4 den Wärmetauscher E3C, bevor ein Teil zu weiterer Entspannung in X1 (analog zu Fig. 1) über Leitung 2a abgenommen wird, während der andere Teil des Erdgases über Leitung 7 abgezogen wird. Der zu erreichende Leistungsgewinn in dieser Ausgestaltung beträgt 5600 kW.

Der Abgabedruck des Erdgases wurde dabei zu 45,2 bar veranschlagt, während die übrigen Randbedingungen mit denen des obigen Vergleichs übereinstimmen.

Fig. 3 stellt eine Abwandlung des Verfahrens der Fig. 2 dar. Dem zweiten Fluidkreislauf ist ein dritter Fluidkreislauf überlagert. Als Fluide können beispielsweise im zweiten Kreislauf Propan und im dritten Kreislauf Ethan Verwendung finden. Zur Übertragung der Kondensationsenergie des Ethankreislaufs wird ein zusätzlicher Wärmetauscher E4 benötigt. Das Temperaturniveau dieses Tauschers liegt zwischen dem des Erdgaskondensators E1 und dem des Propankondensators E2. Zur Übertragung der Verdampfungswärme des komprimierten Ethanstromes in Leitung 2a gegen Wasser wird ein weiterer Wärmetauscher E3D eingesetzt.

Die in den Fig. 2 und 3 dargestellte Entspannungssequenz angewärmtes Erdgas — X3 — Teilung in zwei Ströme — X2 — kann abgewandelt werden, indem ein Teil des verdampften Erdgases vor der Entspannung in X3 für den ersten Fluidkreislauf abgezweigt wird. Der andere Teil wird erst nach der Teilung arbeitsleistend entspannt und abgezogen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Verdampfen von flüssigem Erdgas unter Energiegewinnung, wobei das flüssige Erdgas im Wärmetausch mit in voneinander getrennten Kreisläufen geführten Fluiden, welche arbeitsleistend entspannt, kondensiert und wieder verdampft werden, auf Umgebungstemperatur angewärmt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid eines ersten Kreislaufs Erdgas ist, welches von dem auf Umgebungstemperatur angewärmten Erdgas abgezweigt, arbeitsleistend entspannt, im Wärmetausch mit flüssigem Erdgas kondensiert und dem flüssigen Erdgas wieder zugemischt wird, und daß in einem zweiten Kreislauf ein Fluid geführt wird, welches einstufig arbeitsleistend entspannt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Fluid des zweiten Kreislaufs eine Mischung aus C<sub>1</sub>- bis C<sub>6</sub>-Kohlenwasserstoffen verwendet wird wobei der C<sub>2</sub>-Anteil weniger als 90 Mol-% beträgt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Fluid des zweiten Kreislaufs eine C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>-Mischung oder eine C<sub>2</sub>/C<sub>3</sub>-Mischung verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Fluid des zweiten Kreislaufs Propan verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Fluid des zweiten Kreislaufs Ammoniak verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem ersten und dem zweiten Kreislauf ein weiterer mit einstufiger Entspannung betriebener Kreislauf eingesetzt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Fluid des dritten Kreislaufs Ethan verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des ersten Kreislaufs zweistufig arbeitsleistend entspannt wird.

3836061

11

Fig. 1

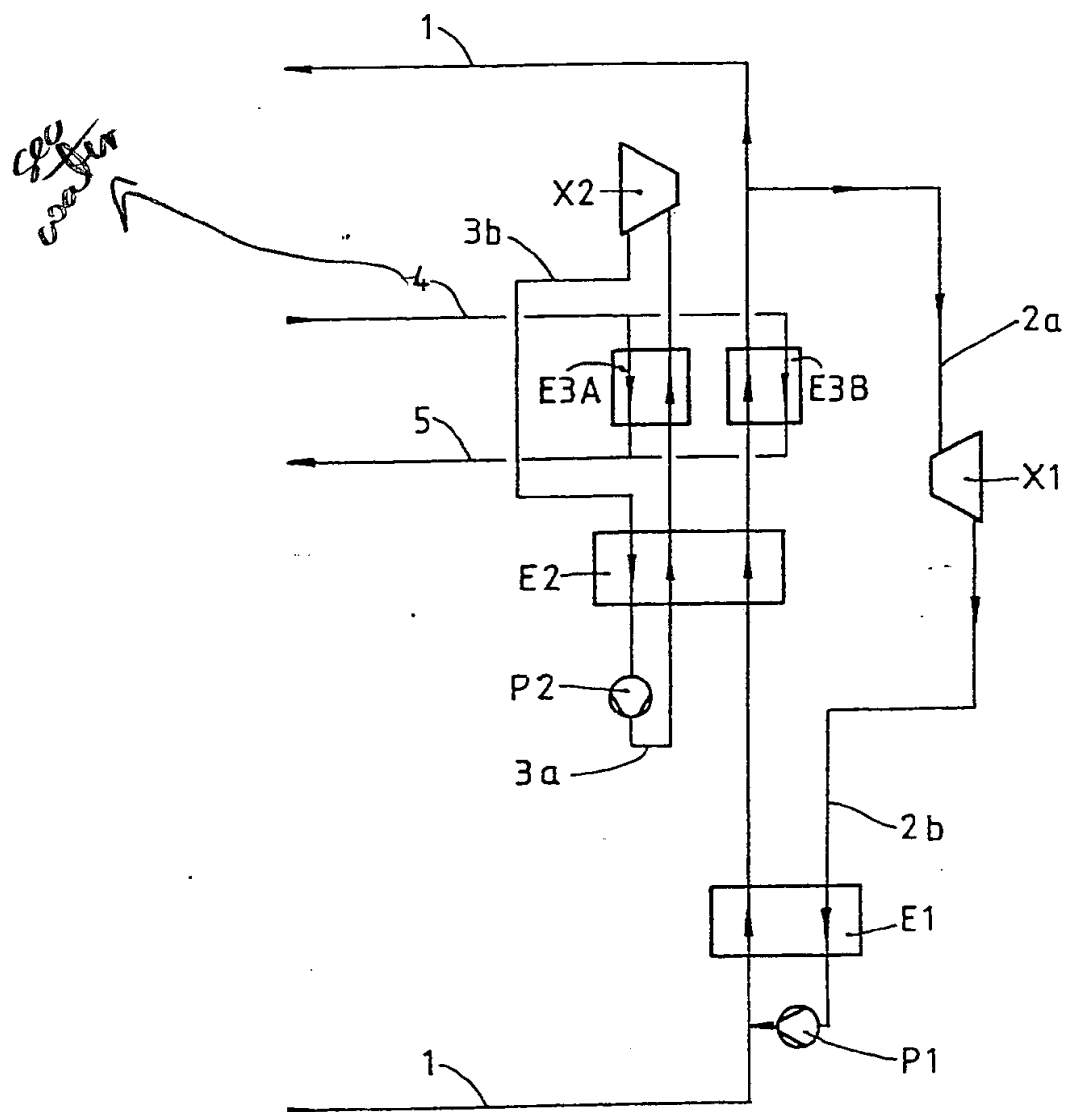
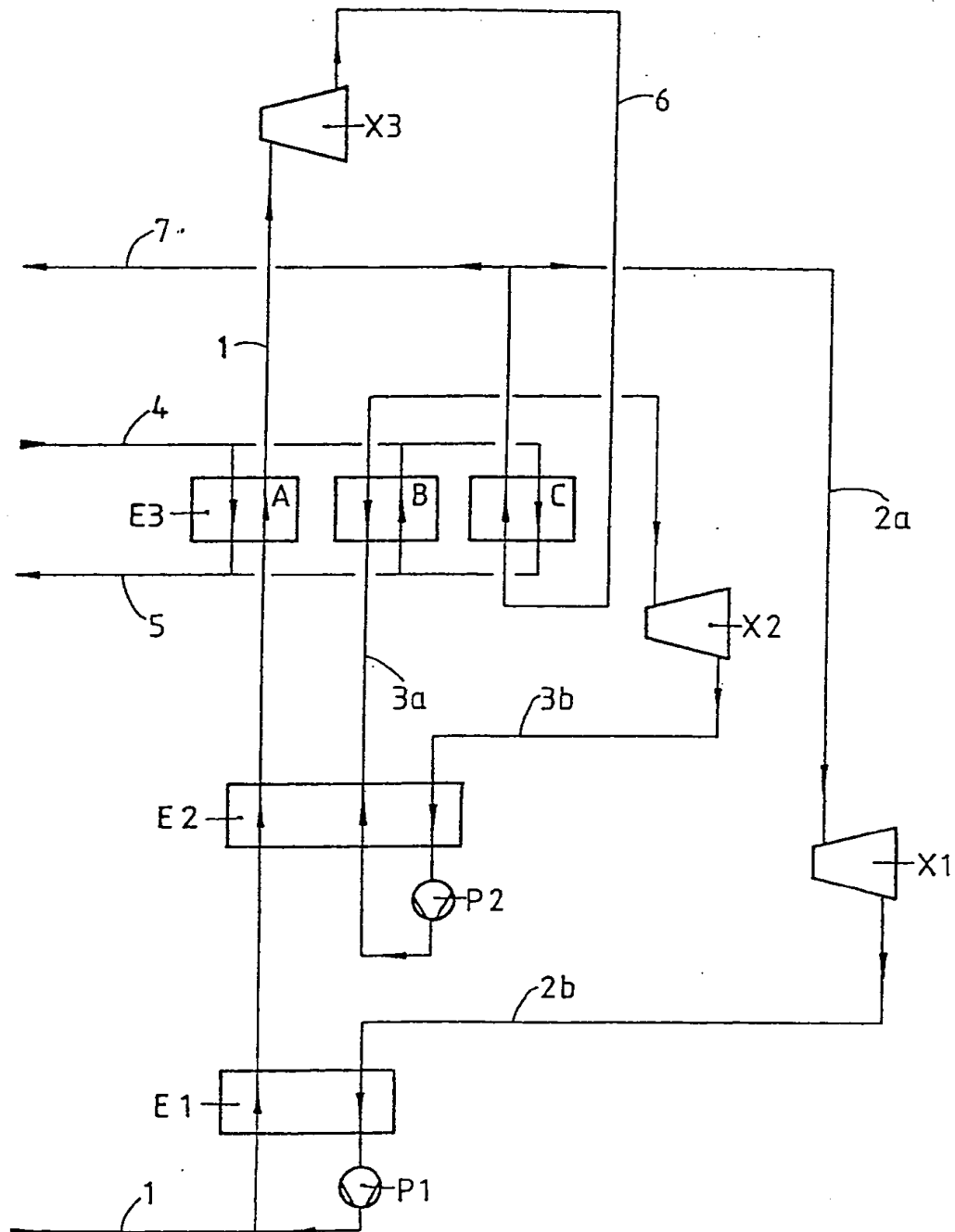


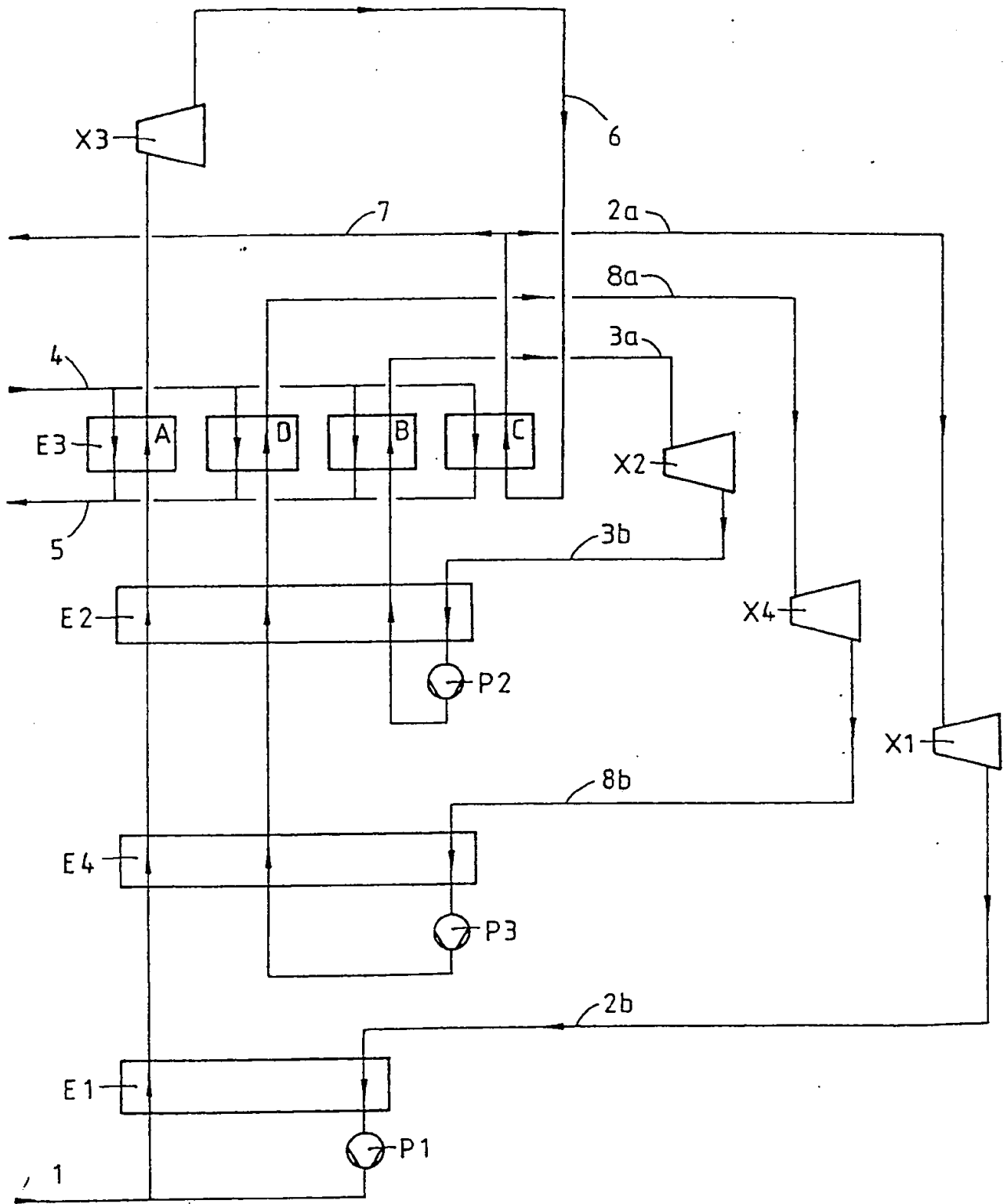
Fig. 2



3836061

Fig.3

73 \*



German Patent Office  
Federal Republic of  
Germany

**Offenlegungsschrift**  
**DE 38 36 061 A 1**

Int.: Cl.<sup>4</sup>:  
**F 217C 9/04**  
F 17 C 9/02  
F 01 K 23/04

File No: P 38 36 0610  
Filing Date: 10-22-88  
Offenlegungs Date: 6-29-89

Internal Priority: 12-21-87 DE  
37 43 417.9

Applicant:  
Linda AG; 6200 Wiesbaden, DE

Inventor: Dr. Hans Schmidt, 8130  
Wolfratshausen, DE

## METHOD FOR EVAPORATING LIQUID NATURAL GAS

In a method for evaporating liquid natural gas with recovery of energy with separate liquid cycles, natural gas itself, heated to ambient temperature, is used as a first liquid cycle, expanded in a work-producing manner, condensed against natural gas, which is to be heated, and admixed once again with the liquid natural gas stream. In a second closed liquid cycle, which is operated with a one-step expansion, hydrocarbon mixtures, propane or ammonia are/is used. These can be stored without problems at ambient temperature under pressure. A third cycle, which operates with ethane as circulating fluid, can be added to the first two liquid cycles.

The invention relates to a method for evaporating liquid natural gas with recovery of energy, the liquid natural gas being heated to ambient temperature in heat exchange with fluids, which are carried in separate cycles and are expanded in a work-producing manner, condensed and evaporated once again.

The heat, required to evaporate liquid natural gas, generally is supplied by a heat carrier such as air or water from the sea or a river. If now, in addition, the low temperature of liquid natural gas is used over auxiliary cycles with expansion turbines to generate electrical energy, the energy, required from water as a heat carrier, is reduced by the same amount. With that, the amount of water required or the operating costs for supplying the water are reduced by the same amount. However, the investment costs for heat-exchanger surfaces and machines vary with the number of auxiliary cycles that are installed. Two (three) auxiliary cycles represent the economic optimum.

A method, which operates with two cycled fluids as heat-exchanging agents, is described in the German Offenlegungsschrift 26 33 713. Initially, a liquid natural gas stream is heated there in several heat-exchanging steps and then evaporated. A portion of the evaporated natural gas itself forms a first fluid cycle. A portion of the evaporated natural gas is diverted from the natural gas stream, expanded in a work-producing manner, condensed against liquid natural gas, which is to be heated, compressed to the pressure of the liquid natural gas and admixed once again with the latter.

In the case of the known method, ethane is used as fluid for the second cycle. For this method, an ethane stream is expanded in a work-producing manner against river water, seawater or air. The expanded stream is divided, a first part being supplied to further work-producing expansion, subsequent condensation counter-currently to the natural gas, renewed heating combined with the second part of the ethane stream and a re-evaporation. The second part of the ethane stream is condensed against natural gas, which is to be heated, and admixed with the first ethane stream. Because of the double

expansion of the heat-exchanging agent and for maintaining the work-producing expansion process, both ethane streams, after this condensation by heat exchange, are pumped with natural gas, which is to be heated to a common pressure.

The energy yield of this method is good but achieved only by a two-step ethane cycle.

It was therefore an object of the present invention to develop a method of the type named above, so that the investment costs are less and/or a better energy recovery is assured.

Pursuant to the invention, this objective is accomplished owing to the fact that the fluid of a first cycle is natural gas, which is diverted from the natural gas, which is heated to ambient temperature, expanded in a work-producing manner, condensed in heat exchange with liquid natural gas and admixed once again with the liquid natural gas, and that a fluid, which is expanded in one step in a work-producing manner, is carried in the other cycle.

In order to achieve a good energy yield in the method of the present invention, it is not necessary to expand the fluid of the second-closed cycle in two steps in a work-producing manner. The fluid is expanded in one step, resulting in lower costs because of the fewer number of expansion turbines and pumps. At the same time, the energy is recovered as well as it is in the state of the art.

Pursuant to the invention, the use of mixture cycles is advantageous. Accordingly, as liquid of the second cycle, a mixture of  $C_1$  to  $C_6$  hydrocarbons, especially a  $C_1/C_2$  mixture or a  $C_2/C_3$  mixture is used, the  $C_2$  portion being less than 90 mole percent.

In a further development of the inventive method, propane is used as fluid of the second cycle.

Pursuant to the invention, a fluid is proposed therewith, which can be stored under pressure without requiring refrigeration. For example, storage under a pressure of 20 bar at ambient temperature is possible without problems, the disadvantage of an energy consuming refrigeration being omitted.

In a further development of the invention, ammonia can be used as fluid of the second cycle. Here also, storage under atmospheric pressure is possible.

In a variation of the inventive method, a further cycle, which is operated with a one-step expansion, is inserted between the first cycle and the second cycle.

In this development, it has proven to be advantageous to use ethane as the fluid of the third cycle. Admittedly, the number of expansion turbines is as large in this variation of the invention as it is in the case of the known method described above. However, the energy yield of the inventive method is better than that of the known method.

In a corresponding development of the inventive method, the fluid of the first cycle is expanded in a work-producing manner in two steps. In a first step, the heated natural gas is expanded and brought into thermal contact with seawater. This heated stream is divided into two, one part of the evaporated natural gas being drawn off while the other part is expanded once again in a work-producing manner and, after heat exchange with the natural gas that is to be heated, is condensed and admixed again with the liquid natural gas. The fluid of the second cycle is furthermore expanded in one step in a work-producing manner. A corresponding description of this development is given in the example illustrated in Figure 2.

In the case of a variation of the method, which is not shown, the heated stream of natural gas is divided into two parts. One part forms the first liquid cycle while the other, before it is drawn off, is expanded once again in a work-producing manner.

The invention is now described in greater detail by means of some examples, which are shown diagrammatically in the drawing, in which

- Figure 1 shows an inventive method with a one-step work-producing expansion of the fluids of the first cycle and of the second cycle,
- Figure 2 shows an inventive method with a two-step expansion of the fluids of the first cycle and a one-step expansion of the fluid of the second cycle and
- Figure 3 shows an inventive method, similar to that of Figure 2, expanded by a third fluid cycle.

The inventive method is shown diagrammatically in Figure 1. A liquid natural gas stream 1 initially is heated in a heat exchanger E1 against condensed natural gas from pipeline 2b. Further heating of the natural gas stream against the heat-exchanging agent, propane, carried in the cycle of the pipelines 3a and 3b, takes place in the heat exchanger E2. The final heating of the natural gas stream takes place in the heat exchanger E3B in the presence of seawater from pipeline 4, which is to be cooled. A portion of the gaseous natural gas stream 1 is drawn up over a branch line 2a, expanded in a work-producing manner in the expansion machine X1, condensed in heat exchange with the natural gas, which is to be heated and, after the pressure is increased by means of pump P1 to the pressure of the liquid natural gas stream, admixed once again with the latter. The fluid of the second cycle, propane, obtains its energy for performing work and for heating natural gas from the seawater, which is made available in pipeline 4. After passing through the heat exchanger E3A, the propane in pipeline 3a is evaporated completely and expanded in a work-producing manner in the expansion turbine X2.

Through pipeline 3b, this propane stream is passed through the heat exchanger E2 countercurrently to the propane stream in pipeline 3a and to the natural gas stream in pipeline 1, which is to be heated. The liquid propane is compressed by pump P2 and is passed through pipeline 3a to be heated by the heat exchanger E2. With that, the second liquid cycle is closed. The sea water, used to recover energy and evaporate natural gas, is provided over pipeline 4, passed through the heat exchanger E3A (in thermal contact with the fluid of the second cycle, which is to be evaporated) and E3B (in thermal contact with the liquid gas stream which is to be heated), which are connected in parallel, and, after withdrawal of the heat, drawn off over pipeline 5.

A comparison of the inventive method, as described, for example, in Figure 1, using propane as heat-exchanging agent, with the method known from the German Offenlegungsschrift 26 33 713 reveals almost identical yields. The calculations were made under the assumption that the composition of the natural gas was the same and that equivalent machines were used. In both cases, the calculations were carried out with the following boundary conditions: input pressure of the liquid natural gas stream 824 bar, output pressure 80 bar, natural gas throughput 130 t/h, inlet temperature of the liquid natural gas stream 125°K. Under these assumptions, the recovery of the known method was 3880 kW, while that of the inventive method was 3720 kW. With that, the inventive method is approximately 4% less efficient than the known method. In the final analysis, however, a performance gain is achieved because the expenditure for equipment is lower and refrigeration is not required to store the cycling medium.

Figure 2 shows an embodiment of the inventive method of Figure 1, for which the natural gas stream, heated to ambient temperature, is expanded in a work-performing manner in two steps. The heated natural gas stream is expanded in a work-performing manner for the first time in the expansion turbine X3 and, for renewed heating by seawater, passes through pipeline 4 of the heat exchanger E3C, before a portion is tapped over pipeline 2s for the further expansion in X1 (similar to Figure 1), while the

other portion of the natural gas is drawn off over pipeline 7. The operating result of this embodiment is 5600 kW.

The outlet pressure of the natural gas was estimated to be 45.2 bar; the remaining boundary conditions were identical to those of the above comparison.

Figure 3 represents a modification of the method of Figure 2. A third fluid cycle is superimposed on the second fluid cycle. Propane, for example, can be used as fluid in the second cycle and ethane can be used as fluid in the third cycle. An additional heat exchanger E4 is required for transferring the condensation energy of the ethane cycle. The temperature level of this exchanger is between that of the natural gas condenser E1 and that of the propane condenser E2. A further heat exchanger E3D is used to transfer the heat of evaporation of the compressed ethane stream in pipeline 2a to water.

The expansion sequence of heated natural gas, shown in Figure is 2 and 3 – X3 - division into two streams - X2 - can be modified in that a portion of the evaporated natural gas, before it is expanded in X3, is diverted from the first fluid cycle. The other portion is expanded in a work-producing manner only after the division and then drawn off.

## Claims

1. A method for evaporating liquid natural gas with recovery of energy, the liquid natural gas, in an exchanger of heat with fluids, which are passed through separate cycles and are expanded in a work-producing manner, condensed and evaporated once again, being heated to ambient temperature, wherein the fluid of a first cycle is natural gas, which is diverted from the natural gas heated to ambient temperature, expanded in a work-producing manner, condensed in an exchange of heat with liquid natural gas and admixed once again with the liquid natural gas, and a fluid, which is expanded in one step in a work-producing manner, is carried in a second cycle.

2. The method of claim 1, wherein a mixture of  $C_1$  to  $C_6$  hydrocarbons is used as the fluid of the second cycle, the proportion of  $C_2$  being less than 90 mole percent.

3. The method of claim 2, wherein the fluid of the second cycle is a mixture of  $C_1$  and  $C_2$  or  $C_2$  and  $C_3$ .

4. The method of claim 1, wherein propane is used as fluid of the second cycle.

5. The method of claim 1, wherein ammonia is used as the fluid of the second cycle.

6. The method of one of the claims 1 to 5, wherein a further cycle, operated with a one-step expansion, is used between the first cycle and the second cycle.

7. The method of claim 6, wherein ethane is used as the fluid of the third cycle.

8. The method of one of the claims 1 to 7, wherein the fluid of the first cycle is expanded in a work-producing manner in two steps.